

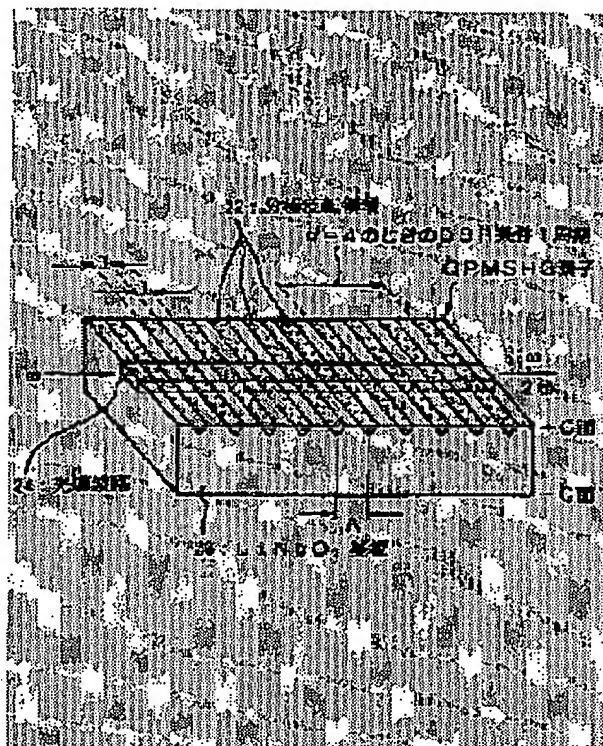
**SECOND HARMONIC OPTICAL WAVE GENERATION DEVICE**

Patent number: JP7122809  
 Publication date: 1995-05-12  
 Inventor: SHINOZAKI KEISUKE; KAMIJO TAKESHI  
 Applicant: OKI ELECTRIC IND CO LTD  
 Classification:  
 - international: H01S3/109; G02F1/37; H01S3/08; H01S3/18  
 - european:  
 Application number: JP19930270852 19931028  
 Priority number(s): JP19930270852 19931028

Report a data error here

**Abstract of JP7122809**

**PURPOSE:** To acquire a device of high SHG efficiency wherein DBR conditions are relaxed by using an SHG element with specific periodical refractive index distribution structure. **CONSTITUTION:** A semiconductor laser as a fundamental wave light source and a quasi-phase matching second harmonic generation (QPMSHG) element are optically coupled to allow the semiconductor laser to perform laser oscillation by using feedback light from the QPMSHG element, and the QPMSHG element is provided with a periodical refraction factor distribution structure along a propagation direction of fundamental wave. In such an SHG device, the periodical refractive index distribution structure is constituted to make a period  $1$  wherein the refractive index changes along a direction of light propagation satisfy both an equation (1):  $1 = (2s - 1) \cdot \lambda / (4(N(\lambda/2) - N(\lambda)))$  and an equation (2):  $1 = (p/q) \cdot \lambda / (4N(\lambda))$  simultaneously. Here,  $s$  and  $p'$  are natural numbers,  $q$  is a natural number exceeding 2,  $\lambda$  is the wave length of fundamental wave and  $N(\lambda/2)$  and  $N(\lambda)$  are effective refractive index of periodical refractive index distribution structure to second harmonic waves and fundamental waves, respectively.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

Partial Translation of JP 1995-122809

Publication Date: May 12, 1995

Application No.: 1993-270852

Filing Date: October 28, 1993

Applicant: OKI ELECTRIC IND CO LTD

Inventor: Keisuke SHINOZAKI

Inventor: Takeshi KAMIJO

[0004] The element composing this S-QPM SHG device includes a  $\text{LiNbO}_3$  substrate 10 as a nonlinear optical crystal and an optical waveguide 12 that is formed on the surface of the  $\text{LiNbO}_3$  substrate 10. In this optical waveguide 12, there are periodically formed domain-inverted regions 14. The refractive index of these domain-inverted regions 14 is slightly greater than that of remaining portions (non-domain-inverted regions) 16 of the optical waveguide 12. Therefore, it can be assumed that, viewing the entire optical waveguide 12, a diffractive grating is formed along the optical waveguide direction. Accordingly, these domain-inverted regions 14 and the non-domain-inverted regions 16 form a periodical refractive index distribution structure

[0005] In this case, forming an external light resonator with the semiconductor laser (LD) and the element can induce stable laser oscillation of the LD through an optical feedback from the periodical refractive index distribution structure.

[0006] The element of the S-QPM SHG device is provided with the periodical refractive index distribution structure configured such that a

period  $\Lambda$  in which the refractive index in the optical waveguide 12 changes, i.e. a period  $\Lambda$  for which the domain-inverted region is formed, simultaneously satisfies the following equation (1) that indicates the QPM condition and the following equation (3) that indicates the distributed bragg reflector (DBR) condition.

[0007]

$$l = (2s-1) \cdot [4 \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\}] \dots \dots \dots (1)$$

$$l = p \cdot \lambda / \{4N(\lambda)\} \dots \dots \dots (3)$$

where  $l$  is denote dimensions ( $l = \Lambda/2$ ) of the domain-inverted region and the non-domain-inverted regions, respectively, along a direction of light propagation,  $s$  and  $p$  denote natural numbers, and  $N(\lambda/2)$  and  $N(\lambda)$  denote effective refractive indexes of the domain-inverted region for a second harmonic wave and fundamental wave, respectively.

[0008] Configuring the element in this way increases the amount of feedback light from the periodical refractive index distribution structure to the LD. Thus, this feedback light induces laser oscillation, and further the QPM condition is satisfied. As a result, the optical intensity of the second harmonic waves increases for each coherent length. Further, since the light of this second harmonic wave ( $2\omega$ ) passes through the periodical refractive index distribution structure, this light is emitted from the QPM element at a high power.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-122809

(43) 公開日 平成7年(1995)5月12日

(51) Int. Cl. <sup>4</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/109				
G 0 2 F 1/37		9316-2K		
H 0 1 S 3/08				
3/18				
			H 0 1 S 3/08	Z
			審査請求 未請求 請求項の数1	OL (全7頁)

(21) 出願番号 特願平5-270852  
 (22) 出願日 平成5年(1993)10月28日

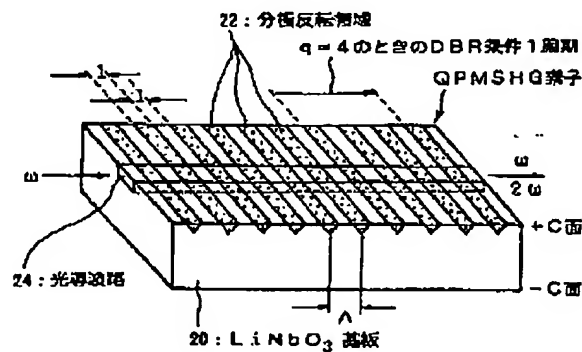
(71) 出願人 000000295  
 沖電気工業株式会社  
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号  
 (72) 発明者 篠崎 啓助  
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
 工業株式会社内  
 (72) 発明者 上條 健  
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
 工業株式会社内  
 (74) 代理人 弁理士 大塚 孝

(54) 【発明の名称】 光第2高調波発生装置

(57) 【要約】

【目的】 ブラッグ反射条件を緩和した擬似位相整合光第2高調波発生装置を提供すること。

【構成】 この実施例では、 $q=4$ として、QPM条件を満足する分極反転構造の1周期は、1つの分極反転領域（長さ $l$ ）と1つの非分極反転領域（長さ $l$ ）とから構成された長さ $2l (= \Lambda)$ のままであるが、一方、ブラッグ反射構造としての1周期はそれぞれ4つずつの分極反転領域および非分極反転領域から構成される長さ $2 \times (4l) = 4\Lambda$ であり、いわゆる超格子構造となっている。従って、この実施例ではQPM条件の4周期がDBR条件の1周期を満足するようになっている。



実施例のQPM SHG素子

(2)

特開平7-122809

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基本波光源としての半導体レーザと、擬似位相整合第2高調波発生素子とを具備、前記半導体レーザと前記擬似位相整合第2高調波発生素子とを、前記半導体レーザが前記擬似位相整合第2高調波発生素子からの帰還光を利用してレーザ発振するように、光結合させてあり、

$$l = (2s - 1) \cdot \lambda / [4 \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\}] \cdots \cdots (1)$$

$$l = (p' / q) \cdot \lambda / \{4N(\lambda)\} \cdots \cdots (2)$$

但し、 $s$ および $p'$ はそれぞれ自然数、 $q$ は2以上の自然数を示し、 $\lambda$ は基本波の波長を示し、 $N(\lambda/2)$ および $N(\lambda)$ はそれぞれ第2高調波および基本波に対する前記周期的屈折率分布構造の実効屈折率を示す。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、半導体レーザ（以下、LDとも称する）を基本波光源とする光第2高調波発生（以下、SHGとも称する）装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、特に光ディスクメモリの高密度化や画像処理技術の分野で、小型な光源であるLDの波長を短波長化する技術が強く求められている。LDの波長を $1/2$ に短波長化する技術として、従来、様々なSHG方法およびそれを実現するための装置が提案されている。その中でも、この出願に係る発明者は特願平3-51930号において、LDの発振波長をSHG素子からの帰還によって擬似位相整合（以下、QPMとも称する）条件を満足する波長で安定的に規定する方法を提案している。以下、この方法を自己擬似位相整合法またはS-QPM法と称する。

【0003】以下、この出願に係る発明の理解を容易にするために、図面を参照して、このS-QPM法を実現するためのS-QPM SHG装置（自己擬似位相整合※

$$l = (2s - 1) \cdot \lambda / [4 \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\}] \cdots \cdots (1)$$

$$l = p \cdot \lambda / \{4N(\lambda)\} \cdots \cdots (3)$$

但し、 $l$ は分極反転領域および非分極反転領域の光の伝播方向に沿ったそれぞれの寸法（ $l = \Lambda/2$ ）を示し、 $s$ 、 $p$ はそれぞれ自然数を示し、 $N(\lambda/2)$ および $N(\lambda)$ は、それぞれ第2高調波および基本波に対する分極反転領域の実効屈折率を示している。

【0008】素子をこのような構成としておけば、周期的屈折率分布構造からLDへの帰還光が多くなる。このため、この帰還光によってレーザ発振が起こり、さらに、QPM条件が満足される。その結果、コヒーレント長毎に第2高調波の光強度が増大し、さらに、この第2高調波の光（ $2\omega$ ）は屈折率分布構造を通過していくのでQPM素子から高出力で出射されることになる。

【0009】このように、S-QPM SHG装置においては、理論的には高いSHG効率の達成が可能となる。

\*前記擬似位相整合第2高調波発生素子は基本波の伝播方向に沿って周期的屈折率分布構造を具備する光第2高調波発生装置において、前記周期的屈折率分布構造は、光の伝播する方向に沿って屈折率が変化する周期 $l$ が下記（1）式および（2）式を同時に満足するように構成されてなることを特徴とする光第2高調波発生装置。

10 ※光第2高調波発生装置）について簡単に説明する。図4は、S-QPM SHG装置の説明に供する概略図である。

【0004】このS-QPM SHG装置を構成する素子は、非線形光学結晶であるLiNbO<sub>3</sub>基板10とその表面に形成した光導波路12とを具備しており、この光導波路12中に周期的に分極反転領域14が形成されている。これら分極反転領域14は、光導波路12の残部（非分極反転領域）16よりは屈折率が僅かに高いので、光導波路12全体を見ると、光導波方向に沿って回折格子を形成しているとみなすことができる。従って、これら分極反転領域14および非分極反転領域16が周期的屈折率分布構造を形成することになる。

【0005】ここで、半導体レーザ（LD）と素子とで外部光共振器を形成するように構成すれば、周期的屈折率分布構造からの光帰還によってLDの安定したレーザ発振を起こすことができる。

【0006】そして、S-QPM SHG装置の素子では、光導波路12中の屈折率の変化する周期 $\Lambda$ 、即ち、分極反転領域の形成周期 $\Lambda$ が、QPM条件を示す下記の（1）式と、ブラッグ反射（DBR）条件を示す下記の（3）式とを同時に満足するように設定された周期的屈折率分布構造を設けている。

【0007】

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のS-QPM SHG装置においては、上述の（1）式および（2）式を同時に正確に満足させることは、困難である。これは、QPM条件およびDBR条件を満足させるために、屈折率分布構造の周期の寸法に高い精度が要求されるためである。この精度に対して、従来のフォトリソグラフィの技術によって作製できる周期の精度には限度（せいぜいサブマイクロメートル程度）があり、また、作製したSHG装置自身の寸法が温度変化によって変化してしまうという問題があった。

【0011】ここで、図2に、要求される精度の一例として、周期的屈折率分布構造の周期の寸法とQPM素子の変換効率との関係の計算結果を示す。図2のグラフの横軸は、周期的屈折率分布構造としての周期的分極反転

(3)

特開平7-122809

構造の周期を表し、縦軸は、SHG変換効率を光第2高調波強度（SH）の相対値で表している。計算にあたっては、基本は光の波長が $1.327\mu\text{m}$ 、コヒーレンス長 $6.5\mu\text{m}$ 、雰囲気温度 $300\text{K}$ 、素子長 $2\text{mm}$ （約300周期に相当）として計算した。図2のグラフからQPM条件を満足させるために要求される精度の一つの目安である半値幅が約 $39\text{nm}$ であることがわかる。この半値幅がQPMとしての周期の寸法の精度の許容度の目安となる。

【0012】次に、図3に周期の寸法とDBRの反射率との関係の計算結果を示す。図3のグラフの横軸は分極反転構造の周期を表し、縦軸はDBRの反射率を表している。図3からDBR条件を満足させるために要求される精度の一つの目安である半値幅が約 $0.56\text{nm}$ であることがわかる。この半値幅がDBRとしての周期の寸法に要求される精度、すなわち許容度の目安となる。この計算例では、DBR条件の許容度はQPM条件の許容度の約 $1/70$ である。

【0013】図2および図3にそれぞれ示した半値幅は一例にすぎないが、QPM条件を満たすために要求される精度に比べて、DBR条件を満足するために要求される精度ははるかに高いこと、すなわち許容度ははるかに小さいことがわかる。従って、S-QPM SHG装置において、SHG効率はQPM条件よりもDBR条件の許容度に依存することがわかる。

$$l = (2s - 1) \cdot \lambda / [4 \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\}] \dots\dots (1)$$

$$l = (p' / q) \cdot \lambda / \{4N(\lambda)\} \dots\dots (2)$$

但し、 $s$ および $p'$ はそれぞれ自然数、 $q$ は2以上の自然数を示し、 $\lambda$ は基本波の波長を示し、 $N(\lambda/2)$ および $N(\lambda)$ はそれぞれ第2高調波および基本波に対する周期的屈折率分布構造の実効屈折率を示す。

【0018】

【作用】この発明の光第2高調波発生装置によれば、自

$$l = (2s - 1) \cdot \lambda / [4 \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\}] \dots\dots (1)$$

$$l = (p' / q) \cdot \lambda / \{4N(\lambda)\} \dots\dots (2)$$

（但し、 $s$ および $p'$ はそれぞれ自然数、 $q$ は2以上の自然数を示し、 $\lambda$ は基本波の波長を示し、 $N(\lambda/2)$ および $N(\lambda)$ はそれぞれ第2高調波および基本波に対する周期的屈折率分布構造の実効屈折率を示す。）

このように構成すると、DBR条件を満足する周期的分極反転構造は超周期構造となるので、DBR条件を緩和することができる。その結果、SHG効率の高いS-QPM SHG装置を従来よりも容易に得ることができ

$$M = pL / l = L / (\lambda / (4N(\lambda))) \dots\dots (4)$$

ところで、 $M$ はブラッグ反射構造の周期の数でもある。さらに、ブラッグ反射条件（DBR条件）の許容範囲の目安となる半値幅は、この $M$ の値にほぼ反比例することが知られている。従って、ブラッグ反射条件の半値幅を広くするためには、この $M$ を小さくすれば良い。（4）

$$l = (p' / q) \cdot \lambda / \{4N(\lambda)\} \dots\dots (2)$$

\*【0014】一方、上記S-QPM SHGを実現するための条件を満足させるために、温度制御といった微調整技術を用いて結晶の屈折率を調整することも考えられる。しかし、これら温度制御等のための構成を含めるとS-QPM SHG装置の微調整が技術的に煩雑になるだけでなく、装置の生産コストの上昇を招くことになる。S-QPM SHG装置を実用化する上では、生産コストを低くすることが重要である。

【0015】従って、この発明の目的は、DBR条件を緩和したS-QPM SHG装置を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】この目的の達成を図るため、この発明の光第2高調波発生装置によれば、基本波光源としての半導体レーザー（LD）と、擬似位相整合第2高調波発生素子（QPM SHG素子）とを具え、LDとQPM SHG素子とを、LDがQPM SHG素子からの帰還光を利用してレーザー発振するように、光結合させてあり、QPM SHG素子は基本波の伝搬方向に沿って周期的屈折率分構造を具えてなる光第2高調波発生装置において、周期的屈折率分構造は、光の伝播する方向に沿って屈折率が変化する周期 $l$ が下記（1）式および（2）式を同時に満足するように構成されてなることを特徴とする。

【0017】

※已擬似位相整合光第2高調波発生（S-QPM SHG）装置において、QPM SHG素子の周期的屈折率分布構造は、光の伝播する方向に沿って屈折率が変化する周期 $l$ が下記（1）式および（2）式を同時に満足するように構成してある。

【0019】

★る。

【0020】以下、上述した（2）式を満足する自然数 $p'$ 、 $q$ を設定できることを、パラメータ $M$ を導入して説明する。素子長を $L$ としたときの全素子長にわたる分極反転構造の中の周期の数を $M$ とすると、 $M$ は下記の式（4）で表される。

【0021】

式中の $l$ は、QPM条件を満足させるための必要条件であるから $l$ の値そのものを変えることはできない。そこで、DBR条件を上述した（3）式から下記の（2）式に示すように変える。

【0022】

(4)

特開平7-122809

この場合、実効的なブラッグ反射構造の周期の数 $M'$ は下記に(5)式で示すように $M$ の $1/q$ 倍となる。これに伴い、ブラッグ反射条件の半値幅はほぼ $q$ 倍となる。\*

$$M' = M/q \dots \dots \dots (5)$$

従って、(1)式と(2)式を同時に満足させるように分極反転構造を設けた場合、QPM条件を満足する分極反転構造の1周期は、1つの分極反転領域(長さ $l$ )と1つの非分極反転領域(長さ $l$ )とから構成された長さ $2l$ のままであるが、一方、ブラッグ反射構造として1周期は、それぞれ $q$ 個ずつの分極反転領域および非分極反転領域から構成される長さ $2(ql)$ のいわゆる超格子構造(1つの周期的構造の中に複数の周期的構造を見てとれる構造)となっている。即ち、このS-QPM SHG装置では、上述の(5)式を反映して、QPM条件の $q$ 周期がDBR条件の1周期を満足することになす

$$\begin{aligned} l &= \lambda_{-1} / [4 \{N(\lambda_{-1}/2)\}] = (p-1) \lambda_{-1} / [4N(\lambda_{-1})] \\ &= \lambda' / [4 \{N(\lambda' / 2)\}] = p \lambda' / [4N(\lambda')] \\ &= \lambda_{+1} / [4 \{N(\lambda_{+1}/2)\}] = (p+1) \lambda_{+1} / [4N(\lambda_{+1})] \end{aligned}$$

ここで、 $q \geq 2$ なる自然数に対して、下記の(6)式を満たす自然数 $p'$ が存在することを証明する。

$$p-1 < p' / q < p+1 \dots \dots \dots (6)$$

即ち、各辺を $q$ 倍して

$$pq - q < p' < pq + q \dots \dots \dots (7)$$

を満たす自然数の $p'$ が存在することを示せば良い。

【0027】ところで、(7)式の $pq - q$ から $pq + q$ までの間には $2q - 1$ 個の自然数が存在する。よって、(7)式を満たす $p'$ が存在することがわかる。従って、(2)式を満足する様な自然数 $p'$ 、 $q$ を設定できることがわかる。

【0028】

【実施例】以下、図面を参照して、この発明の光第2高調波発生装置の実施例について説明する。尚、以下に参照する図は、この発明が理解できる程度に、各構成成分の大きさ、形状および配置関係を概略的に示してあるにすぎない。従って、この発明は、図示例に限定されるものでないことは明らかである。

【0029】図1は、この発明の光第2高調波発生装置の実施例の説明に供する説明図であり、装置を構成するQPM SHG素子の斜視図である。この実施例では、 $q=4$ としたときの構造を示している。

【0030】この発明の光第2高調波発生装置は、基本波光源としての半導体レーザ(図示せず)と、擬似位相\*

$$l = (2s-1) \cdot \lambda / [4 \{N(\lambda/2) - N(\lambda)\}] \dots \dots \dots (1)$$

$$l = (p' / q) \cdot \lambda / [4N(\lambda)] \dots \dots \dots (2)$$

但し、 $s$ および $p'$ はそれぞれ自然数を示し、 $q$ は2以上の自然数を示し、 $\lambda$ は基本波の波長を示し、 $N(\lambda/2)$ および $N(\lambda)$ はそれぞれ第2高調波および基本波に対する周期的屈折率分布構造の実効屈折率を示す。

【0034】この実施例では、 $q=4$ として、QPM条件を満足する分極反転構造の1周期は、1つの分極反転

\*その結果、DBR条件が $q$ 倍に緩和されることとなる。

【0023】

※る。

【0024】次に、上述した(1)式と(2)式を同時に満足させることができる整数 $q$ が存在することを示す。ここでは、煩雑を避けるため $s=1$ の場合について説明する。 $s \neq 1$ の場合も同様に $q$ の存在を証明することができる。 $q=1$ の場合、即ち、従来のS-QPM SHG装置においては、基本波のある波長 $\lambda_{-1} < \lambda' < \lambda_{+1}$ において、 $\lambda'$ が上述した(1)式と(3)式とを同時に満たす。

【0025】

★【0026】

☆整合第2高調波発生素子(QPM SHG素子)とを具備しており、LDとQPM SHG素子とを、LDがQPM SHG素子からの帰還光を利用してレーザ発振するように、光結合させてある。QPM SHG素子は基本波の伝搬方向に沿って周期的屈折率分構造を具備している。

【0031】このため、この実施例の光第2高調波発生装置では、QPM SHG素子(以下、単に素子とも称する)として、 $\text{LiNbO}_3$ 基板20の+C面にTi(チタン)を周期的(周期 $\Lambda=2l$ )に拡散させて分極反転領域22を形成した周期的分極反転構造を具備している。また、この周期的分極反転構造と直交するように、プロトン交換法( $\text{Li}^+ - \text{H}^+$ 交換法)により、光導波路24が形成してある。

【0032】この光導波路22に沿った周期的屈折率分布構造である周期的分極反転構造は、光の伝播する方向に沿って屈折率が変化する周期 $l$ が下記(1)式および(2)式を同時に満足するように構成されている。

【0033】

領域(長さ $l$ )と1つの非分極反転領域(長さ $l$ )とから構成された長さ $2l$ ( $=\Lambda$ )のままであるが、一方、ブラッグ反射構造としての1周期はそれぞれ4つずつの分極反転領域および非分極反転領域から構成される長さ $2 \times (4l) = 4\Lambda$ であり、いわゆる超格子構造となっている。従って、この実施例ではQPM条件の4周期がD

7

BR条件の1周期を満足するようになっている。このため、DBR条件を満足するために要求される精度の許容度は、 $q=1$ とした場合の4倍に緩和されることになる。

【0035】上述した実施例では、この発明を特定の材料を使用し、特定の条件で形成した場合について説明したが、この発明は、多くの変更および変形を行うことができる。例えば、上述した実施例では、 $\text{LiNbO}_3$  基板20を用いたが、この発明では、例えば $\text{KTiOPO}_4$  (KTP) 基板26を用いることもできる。また、上述した実施例では、分極反転構造と直交する光導波路24を形成したが、この発明では、図5に示すように、基板に、基板よりも屈折率の高い高屈折率領域22を周期的に分布させ、この分布に沿って基本波を伝播させる構造を有するQPM SHG素子としても良い。

**[ 0 0 3 6 ]**

【発明の効果】この発明の光第2高調波発生装置によれば、DBR条件を満足する周期的分極反転構造を超周期構造としたので、DBR条件を緩和することができる。その結果、SHG効率の高いS-QPM SHG装置を従来よりも容易に得ることができる。

(5)

特開平7-122809

8

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明のS-QPM SHG装置のQPM SHG素子の説明に供する斜視図である。

【図2】周期的屈折率分布構造の周期とQPMの変換効率との関係の計算結果を示すグラフである。

【図3】周期的屈折率分布構造の周期とDBRの反射率との関係の計算結果を示すグラフである。

【図4】従来のS-QPM SHG装置のQPM SHG素子の説明に供する概略図である。

10 【図5】KTP基板を用いた従来のQPM SHG素子の変形例の説明に供する斜視図である。

【符号の説明】

10: LiNbO<sub>3</sub> 基板

1 2 : 光導波路

#### 14: 分極反轉領域

16: 非分極反轉領域

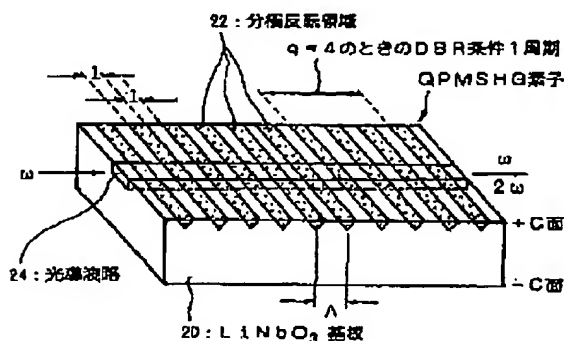
20: LiNbO<sub>3</sub> 基板

## 2.2 : 分極反轉領域 (高屈折率領域)

24 : 光導波路

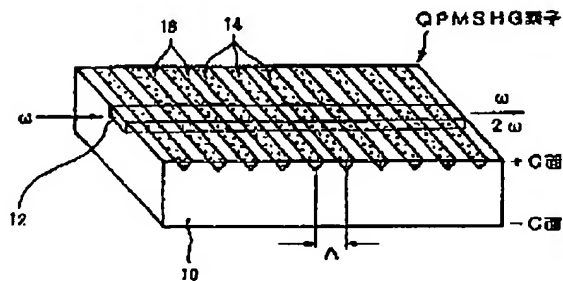
20 26:KTP基板

【图 1】



### 実施例のQPMSHG因子

【図4】

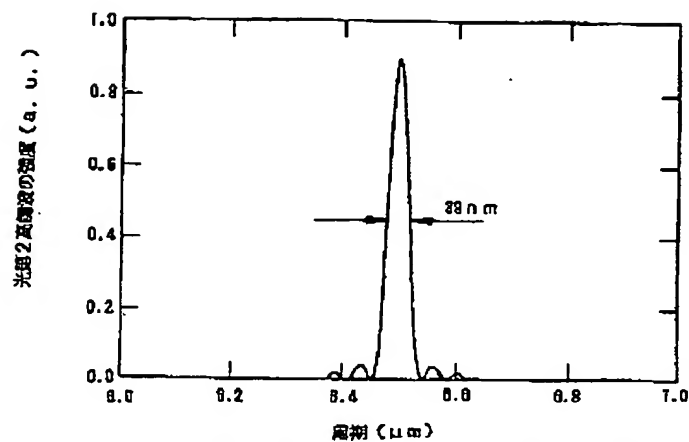


### 従来のLiNbO<sub>3</sub>によるQPMSHG素子

(6)

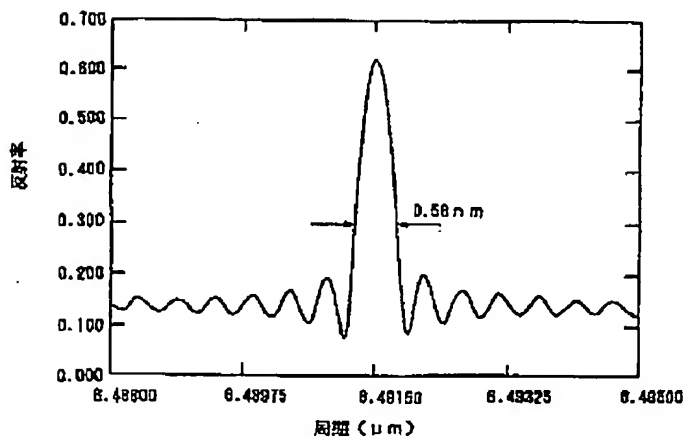
特開平7-122809

【図2】



屈折率分布構造の周期とQPM素子の変換効率との関係

【図3】

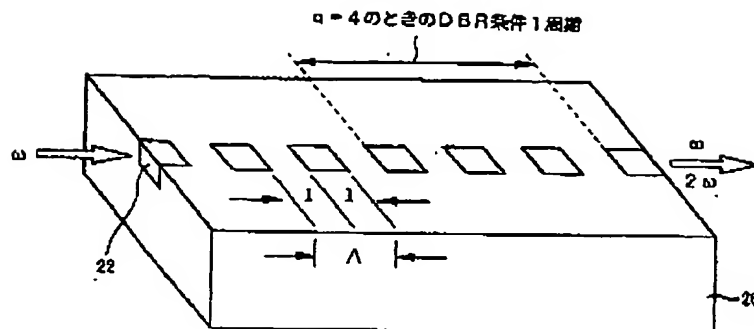


屈折率分布構造の周期とDBRの反射率との関係

(7)

特開平7-122809

【図5】



実形例